

ков. – Одеса, 2009. – 21 с. 4. Новиков Ф.В., Рябенков И.А., Дерябин В.С., Машко А.А. Концепции развития механической обработки высокоточных изделий // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – 2010. – Вип. 101. – С. 234-240. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 6. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов // Физические и компьютерные технологии. – Труды 13-й Международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20.

Поступила в редколлегию 5.05.2011г.

УДК 621.923

Г.В. НОВИКОВ, канд. техн. наук, Науч. центр НТК “Эльбор”, Харьков.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ В БРИЛЛИАНТЫ

Узагальнено практичний досвід ефективного застосування електроерозійного виправлення алмазних кругів на металевій зв'язці при обробці природних алмазів у діаманти, наведені конкретні практичні рекомендації

Practical experience of effective application of electro-erosive correction of diamond circles is generalized on a metallic copula at treatment of natural diamonds in diamonds, concrete practical recommendations are resulted

Обобщен практический опыт эффективного применения электроэрозионной правки алмазных кругов на металлической связке при обработке природных алмазов в бриллианты, приведены конкретные практические рекомендации

Ключевые слова: Шлифование, природный алмаз, алмазный круг, электроэрозионная правка, производительность обработки

Введение и постановка задачи. С организацией промышленного производства синтетических алмазов шлифование металлических и неметаллических труднообрабатываемых материалов (твердых сплавов, природных алмазов, изделий из стекла и хрусталя и т.д.) осуществляется фактически кругами из синтетических алмазов, которые в силу их высокой твердости и остроты режущих кромок обеспечивают обработку с низкой силовой и тепловой напряженностью процесса и высоким качеством обрабатываемых поверхностей [1, 2]. Вместе с тем, для эффективного применения алмазных кругов на высокопрочных металлических связках требуется их качественная подготовка к работе, включающая устранение биения, вскрытие алмазонасного слоя, поддержание высокой режущей способности круга в процессе

шлифования и т.д. Однако решить на практике эти вопросы традиционными методами весьма сложно. Поэтому целью работы является обобщение опыта эффективного применения электроэрозионной правки алмазных кругов на металлической связке при обработке природных алмазов в бриллианты, а также твердосплавных блок-матриц для синтеза алмазного порошка.

Материалы и результаты исследований. 1. При создании алмазно-абразивного инструмента необходимо обеспечить удержание алмазного зерна в связке с силой, равной прочности его на раздавливание. Суммарная сила резания, действующая на отдельное зерно инструмента

$$P_1 = \sqrt{P_{z1}^2 + P_{y1}^2} = P_{y1} \cdot \sqrt{K_{ш}^2 + 1}, \quad \text{при коэффициенте шлифования}$$

$K_{ш} = P_{z1} / P_{y1} < 0,5$ мало отличается от нормальной P_{y1} составляющей силы резания (где P_{z1} – тангенциальная составляющая силы резания, Н). Следовательно, зерно в связке должно удерживаться таким образом, чтобы исключить его утопание под действием силы P_{y1} . Для этого твердость связки $HV_{св}$, например, по Виккерсу, должна удовлетворять условию $HV_{св} = P_{y1} / \pi \cdot tg \gamma \cdot h^2$, где h – глубина заделки зерна в связке, м; γ – половина угла при вершине конусообразного зерна. Очевидно, чем больше твердость связки $HV_{св}$, тем меньше h и больше высота его выступания, что повышает режущую способность алмазно-абразивного инструмента.

Рассмотрим случай практической реализации данного условия применительно к обработке природных алмазов в бриллианты. Длительное время процесс огранки алмазов осуществляется с использованием ограночного чугунного диска, шаржированного микропорошком из синтетических алмазов АСН или АСМ зернистостью 7...20 мкм и поверхностной концентрации алмазных зерен – 0,0032 карат/см² [3]. Ограночный диск имеет зону шлифования и полирования. Шлифование выполняется с удельным давлением $P_{уд} = 2,5...6,5$ Н/мм², а полирование – с $P_{уд} = 1,0...2,5$ Н/мм². Недостатком такого инструмента является малое количество зерен, участвующих в резании – 15...20%. Остальные 80...85% зерен в силу слабого удержания их рабочей поверхностью преждевременно выкрашиваются. Это предопределяет низкую стойкость инструмента. Для повышения прочности удержания зерен, т.е. увеличения глубины заделки зерна в связке h , применяют различные способы "укатки" зерен, однако решить проблему повышения стойкости инструмента не удается.

Ограночный диск с гальваническим закреплением мелкодисперстных алмазных порошков имеет более высокую прочность удержания зерен. Концентрация алмазного порошка достигает 75% от рабочей площади диска. По сравнению с чугунными дисками, ограночный диск с гальваническим покрытием никель-железо обеспечивает повышение стойкости в 4,5 раза и повышение производительности обработки в 1,7 раза. В связи с этим, ограночные диски, у которых алмазонасыщенный слой изготавливается методом гальваниче-

ского осаждения алмазного порошка на чугунный диск, получили широкое применение на предприятиях. Толщина алмазоносного слоя диска небольшая (составляет несколько слоев алмазных зерен зернистостью 5...10 мкм). Поэтому данный ограночный круг предназначен для разового использования. После износа алмазоносного слоя в процессе огранки алмазов, круг отдадут на переработку, где вместо старого слоя гальваническим методом закрепляется новый слой. И так повторяется многократно. Изготовленные данным методом ограночные круги обладают высокой режущей способностью и успешно используются в производстве. Благодаря гальваническому методу, удастся получить алмазоносный слой с высокой концентрацией алмазного порошка (200% и более), что важно при обработке природных алмазов. Основными недостатками данного ограночного круга являются высокая трудоемкость его изготовления и непродолжительное время эксплуатации.

Дальнейшим этапом совершенствования алмазно-абразивных инструментов для огранки алмазов стало создание специальных алмазных кругов на металлических связках (МН1, МО22 и других) методом порошковой металлургии, детонационного и плазменного напыления [4]. На Полтавском заводе искусственных алмазов и алмазных инструментов по данной технологии изготовлены алмазные круги на металлической связке МЗ-04 с характеристиками 6A2 300x60x5x50 AC6 10/7 4. Для повышения эффективности обработки в состав смазочно-охлаждающей жидкости вводят алмазный порошок той же зернистости с концентрацией до 35%. Для оценки эффективности технологии шлифования алмазов рассмотрим предыдущую зависимость. Силу P_{y1} , равную прочности зерна на раздавливание, представим в виде: $P_{y1} = \alpha \cdot \bar{X}$, где α – размерный коэффициент, характеризующий марку алмаза (его прочность); \bar{X} – зернистость круга, м. Тогда безразмерный коэффициент $\varepsilon = h / \bar{X}$, определяющий степень заделки зерна в связке, выразится $\varepsilon = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi \cdot \lg \gamma \cdot HV_{ce} \cdot \bar{X}}}$. Как видно, с уменьшением \bar{X}

коэффициент ε возрастает, т.е. доля выступающей над уровнем связки части зерна уменьшается. Этим объясняется низкая работоспособность мелкозернистых алмазных кругов. Увеличение твердости связки HV_{ce} уменьшает коэффициент ε . Однако, с применением высокопрочных металлических связок нарушается режим самозатачивания круга. Следовательно, наиболее перспективным способом обработки природных алмазов в бриллианты следует рассматривать применение мелкозернистых кругов на металлических связках и эффективных методов их правки (электроэрозионной правки).

Необходимо отметить, что метод порошковой металлургии позволяет получить алмазоносный слой ограночного круга значительно большей толщины – 3...5 мм, что существенно увеличивает срок его работы.

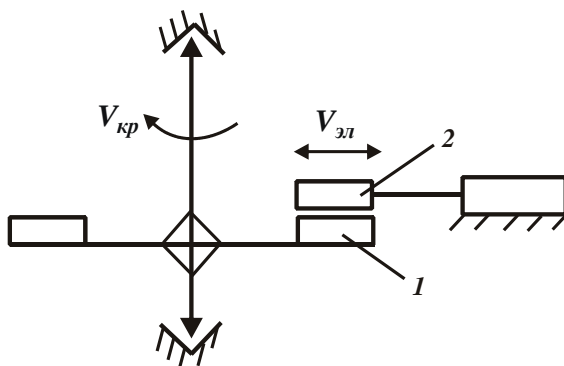


Рис. 1. Схема электроэрозионной правки ограночного круга: 1 – алмазосодержащий слой круга; 2 – электрод.

Недостатком этого метода является более низкая концентрация алмазного порошка в алмазосодержащем слое по сравнению с гальваническим методом изготовления ограночного круга. Использование вакуумной камеры при спекании круга позволяет получить 150%-ную концентрацию алмазного порошка, что является хорошим результатом. Более высокая насыщенность режущего слоя алмазными зернами создает его высокую твердость, что ограничивает глубокое внедрение обрабатываемого кристалла в режущую поверхность (поскольку природные алмазы обладают чрезвычайно высокой твердостью), а это обеспечивает получение более качественных граней на кристалле и исключает образование сколов. Кроме того, повышенная концентрация зерен увеличивает режущие свойства круга. Огранка осуществляется в 2 операции. При черновой обработке (подшлифовке) используются круги зернистостью 10/9 мкм, а при чистовой – круги зернистостью 5/4 мкм.

При обработке ограночный круг базируется на оправке-оси и закрепляется механическим способом. Для нормального протекания процесса обработки биение режущей поверхности ограночного круга не должно превышать 0,01 мм. Поэтому ограночный круг обязательно проходит динамическую балансировку, т.к. вибрации существенно влияют на величину биения режущей поверхности (диаметр диска 300 мм, а частота его вращения превышает 3000 об/мин). Попытки механическим способом устранить увеличенное биение не приводят к положительным результатам. Несмотря на то, что происходит сьем алмазосодержащего слоя, профиль режущей поверхности фактически не изменяется (остается исходным) и биение не устраняется. Естественно, производить огранку таким кругом не представляется возможным. В связи с этим была предложена идея устранения биения режущей поверхности круга с использованием метода электроэрозионной правки. Для этого было изготовлено специальное оборудование. Чтобы исключить ряд погрешностей при правке круга, ее производили на граночном станке, где размещали все необходимые элементы правки. Важным моментом данного решения явилось то,

что ограниченный круг правился в собранном виде (на оправке-оси). Правящий электрод был изготовлен из графитового материала и имел пазы для попадания охлаждающей жидкости в зону правки. Электроду сообщали возвратно-поступательные движения на всю ширину алмазосносного слоя (рис. 1). Направляющие электрода изготавливались из закаленной стали и соединялись между собой посредством шариков. Такая конструкция исключала вибрации электрода и уменьшала погрешности при выравнивании режущей поверхности. Возратно-поступательные движения электрода осуществлялись от электродвигателя с редуктором посредством кривошипно-шатунного механизма. Величину движения электрода регулировали увеличением или уменьшением штанги шатуна. Электродвигатель с редуктором имел небольшие габариты и легко устанавливался на приспособлении. Все устройство крепилось на столе граночного станка.

Врезная подача графитового электрода на алмазосносный слой круга осуществляется посредством пары винт-гайка по штифтовым направляющим. Длина этого перемещения составляет 1...4 мм. Путем поворачивания винта можно вводить графитовый электрод в контакт с режущей поверхностью ограниченного круга. Процесс электроэрозионной правки происходит при обильном охлаждении зоны правки с использованием технической воды. Принудительная подача жидкости осуществляется от насосной станции (с использованием водяной помпы от заточного станка мод. 3Д642Е). Для сбора отработанной жидкости под вращающимся ограниченным кругом установлен специальный поддон, откуда вода поступала обратно в бак насосной станции. Для исключения разбрызгивания жидкости при вращении круга использовался защитный кожух. Источником технологического тока электроэрозионной правки служил специальный импульсный генератор. Электроэрозионная правка алмазных ограниченных кругов с зернистостью 5...10 мкм имеет свои особенности, связанные, прежде всего, с поддержанием необходимого зазора между электродом и правящей поверхностью круга. Решить эту задачу удалось путем использования электрода из графита и обильной подачи охлаждающей жидкости непосредственно в зону правки.

Электроэрозионная правка характеризуется переносом снятого материала связки алмазного круга на правящий электрод (на круг подается положительный заряд, а на электрод – отрицательный), который в застывшем виде накапливается в пазах электрода. Наступает такой момент, когда в отдельных местах он перемыкает зазор между электродом и связкой круга. В результате резко увеличивается сила тока правки и на поверхности круга образуются борозды (за счет более интенсивного снятия материала). При дальнейшей правке на режущей поверхности образуются значительные неровности. Описанный выше случай относится к правке электродом, изготовленном из металла. Устранить застывший на электроде материал связки сложно из-за небольшой величины выступания зерен. Данная задача успешно решается при использовании электрода из графита. Перенесенный на электрод материал связки легко отрывается от графитового электрода, т.к. температуры плавления

ния графита и материала связки разные и поэтому между ними не происходит прочного сцепления.

Практика показывает, что при обработке природных алмазов все же более предпочтительно применение ограночных кругов, изготовленных гальваническим методом. Это обусловлено меньшими затратами дорогостоящего алмазного порошка. Вместе с тем, изготовление ограночных кругов гальваническим методом, как известно, является экологически вредным производством, что ограничивает его практическое применение.

Установлено, что эксплуатация ограночных кругов, изготовленных методами порошковой металлургии (т.е. спеченных кругов), требует более высокой квалификации рабочего-огранщика. Это связано, прежде всего, с высокой стоимостью данных кругов и необходимостью их экономного расходования. Использование электроэрозионной правки собранного ограночного круга непосредственно на рабочем месте (на граночном станке) позволяет обеспечить требуемое биение режущей поверхности круга – в пределах 0,01 мм.

Процесс огранки природных алмазов характеризуется появлением на режущей поверхности круга задиров и глубоких царапин. Для их устранения круг необходимо периодически править. Этому способствует увеличенная толщина алмазоносного слоя круга, составляющая 5 мм. Кроме того, как отмечалось выше, ограночные круги необходимо подвергать динамической балансировке для исключения вибраций и появления дополнительных перемещений режущей поверхности в направлении обрабатываемого кристалла.

Установлено, что технология спекания алмазного круга без применения вакуумной камеры обеспечивает 100%-ную концентрацию алмазных зерен. При использовании вакуумной камеры достигается 150%-ная концентрация при одновременном обеспечении требований по твердости спеченного алмазоносного слоя круга. В противном случае присутствие кислорода при спекании приводит к окислению материала, и он получается рыхлым.

2. В настоящее время для обработки природных алмазов широко используются алмазные круги на металлической связке формы 1А1 150х5х32х5 АС6 80/63...63/50 М2-01. После спекания данного круга необходимо придать ему товарный вид, устранить радиальное биение (составляющее 0,1...0,5 мм) и обеспечить правильную геометрическую форму рабочей поверхности. Для этого традиционно используется абразивная правка абразивным кругом, которая может быть осуществлена, например, на заточном станке ЗД642Е. В качестве правящего инструмента можно использовать любые абразивные круги, геометрические параметры которых позволяют установить их на шпиндельном узле станка с сообщением вращательного движения со скоростью 20–25 м/с. Алмазный круг при этом устанавливается на специальное приспособление "фортунa" (которое входит в ЗИП заточного станка) и ему сообщается вращательное движение со значительно меньшей скоростью 2–5 м/мин. Вращательные движения абразивного и алмазного кругов должны быть встречными. В процессе правки происходит сьем алмазоносного слоя круга, устранение радиального биения и формирование требуемой геометрии профиля круга. Основными недостатками данного метода правки являются большой расход дорогостоящих абразив-

ных кругов и значительная запыленность рабочего места, требующая работы в респираторе.

Повысить эффективность подготовки алмазного круга к работе можно применением электроэрозионной правки [5, 6], которая может быть осуществлена на том же заточном станке. Для этого алмазный круг устанавливается на шпиндельном узле станка и ему сообщается вращательное движение со скоростью 25–30 м/с. Правящий электрод представляет собой набор стальных пластин (толщиной 1,5–2 мм), скрепленных болтом и прикрепленных к стальной державке. Ширина рабочей части электрода составляет 40–50 мм. Изолированный электрод крепится в тисках, установленных на движущемся столе станка. Он является отрицательным полюсом и к нему подводится электрический ток от специального источника технологического тока. Положительным полюсом является алмазный круг. Для подвода к нему электрического тока, клемму соединяют с торцом шпинделя заточного станка через графитовую щетку с целью защиты подшипников качения шпинделя от разрядного тока. Процесс электроэрозионной правки алмазного круга осуществляется путем сообщения правящему электроду радиального и возвратно-поступательного продольного (на всю ширину электрода) перемещений (подач) в автоматическом режиме.

По мере устранения радиального биения и увеличения времени контакта правящего электрода с обрабатываемой поверхностью алмазного круга, технологический ток в цепи правки увеличивается. Установлено, что для эффективного ведения процесса электроэрозионной правки указанных выше алмазных кругов технологический ток должен составлять 30–35 А. Для обеспечения таких заданных значений технологического тока в процессе правки необходимо периодически корректировать величину зазора между алмазным кругом и правящим электродом (в связи с его износом) путем осуществления радиальной подачи электрода. Необходимым условием нормального протекания процесса электроэрозионной правки является наличие охлаждающей жидкости в зоне обработки. Для этого алмазный круг должен быть закрыт защитным кожухом, исключающим разбрызгивание охлаждающей жидкости. Установлено, что наибольший эффект обработки достигается при использовании чистой воды, т.к. смазочно-охлаждающие жидкости содержат масла, которые при воздействии разрядного тока вызывают образование на поверхности алмазного круга "черного нагара", а содержание соды Ca_2CO_3 в охлаждающей жидкости (даже небольшой концентрации) "окрашивает" поверхность алмазного круга в зеленый цвет.

Практикой установлено, что электроэрозионная правка, так же как и механическая правка, обеспечивает необходимые требования к точности обработки алмазного круга. Однако при этом достигается более качественное вскрытие алмазоносного слоя круга, исключается использование дорогостоящих абразивных кругов, значительно улучшаются условия работы (хотя требуется установление на рабочем месте вентиляжного устройства). Вместе с тем, по продолжительности процесс электроэрозионной правки уступает механической правке. Поэтому окончательный вывод о целесообразности ее использования следует принимать в каждом конкретном случае с учетом сопоставления производительности правки и затрат, связанных с приобретением абразивных кругов, используемых при механической правке.

3. Шлифование блок-матриц для синтеза алмазного порошка. Блок-матрица состоит из стальной обоймы с запрессованной в нее твердосплавной камерой, в которой происходит процесс синтеза алмазного порошка. Для обеспечения плоскостности верхней части блок-матрицы, производится ее шлифование алмазными кругами на плоскошлифовальном станке мод. 3Г71.

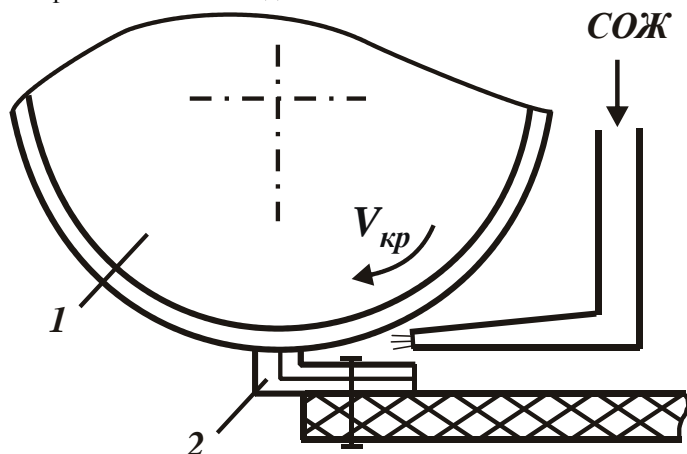


Рис. 2. Схема электроэрозионной правки алмазного круга (1) с использованием электрода (2).

Совместная обработка стали и твердого сплава алмазным кругом 1А1 250х20х5 на органической связке, как показывает практика, приводит к его интенсивному износу и снижению производительности обработки. Применение алмазного круга на керамической связке позволяет в определенной степени повысить производительность обработки и снизить износ круга. Однако полностью решить проблему высокопроизводительного шлифования не удалось. Проблема была решена за счет применения алмазного круга 1А1 300х20х5 на металлической связке М1-01 и его электроэрозионной правки. Для этого была произведена модернизация плоскошлифовального станка, включающая электроизоляцию алмазного круга и осуществление токоподвода к нему через графитовую щетку. В качестве правящего электрода первоначально использовалась обрабатываемая деталь. Источником технологического тока служил специально изготовленный генератор импульсов.

Однако, электроэрозионная правка алмазного круга непосредственно в процессе шлифования не позволила добиться ожидаемых результатов. Плотный контакт круга с обрабатываемой поверхностью, с одной стороны, приводил к существенному увеличению разрядного тока, а с другой стороны, вызывал интенсивное засаливание круга. Круг фактически не подвергался правке, его рабочая поверхность была полностью покрыта светло-серым слоем стальной стружки. Поэтому от такой идеи электроэрозионной правки круга пришлось отказаться. Взамен была предложена идея осуществления электроэрозионной правки с использованием ручного изолированного электрода. Первые опыты по практической реализации данной идеи показали по-

ложительные результаты. Например, новый алмазный круг на металлической связке М1-01, установленный на станок и имевший значительное биение рабочей поверхности, с помощью ручного электрода был подготовлен к работе за небольшой промежуток времени. Суть правки состоит в следующем. Изолированный Г-образный электрод прижимается к периферии круга в зоне интенсивного попадания на него охлаждающей жидкости (рис. 2). При этом не наблюдалось его отбрасывание в связи с отсутствием биения поверхности. Электроэрозионной правкой в данном случае быстро очищается поверхность круга от продуктов обработки (стального налета) и вскрывается алмазоносный слой. Время правки составляет 15 – 25 с при силе тока 15 – 20 А. Для осуществления такой правки (подзаправки) достаточно круг вывести из зоны обработки и выключить продольную подачу, что весьма удобно для рабочего. Следующую правку (подзаправку) круга необходимо производить при появлении шума в зоне обработки, что является первым признаком засаливания круга. Установлено, что стойкость алмазного круга на металлической связке М1-01 при правке с использованием ручного изолированного электрода многократно увеличивается. Это позволяет эффективно обрабатывать твердосплавные блок-матрицы при съеме значительных припусков. Количество шлифованных блок-матриц между заправками круга при этом изменялось, однако, в основном из-за различной величины снимаемого припуска.

Выводы. В работе показаны возможности эффективного применения электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках, используемых для обработки природных алмазов. Предложены новые конструктивные схемы осуществления электроэрозионной правки, позволяющие существенно повысить ее эффективность в производственных условиях. Приведены конкретные примеры реализации правки алмазных кругов на металлических связках в условиях обработки природных алмазов и твердосплавной оснастки синтеза искусственных алмазов.

Список литературы: 1. *Беззубенко Н.К.* Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / *Н.К. Беззубенко*. – Харьков, 1995. – 56 с. 2. *Пахалин Ю.А.* Алмазное контактно-эрозионное шлифование / *Ю.А. Пахалин*. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 178 с. 3. *Епифанов В.И.* Технология обработки алмазов в бриллианты / *В.И. Епифанов, А.В. Зыков*. – М.: Высшая школа, 1971. – 203 с. 4. *Рогов В.В.* Инструмент из синтетических алмазов при ограниченном шлифовании и полировании / *В.В. Рогов, В.Н. Пепельнюк, В.В. Абрамов* // *Сверхтвердые материалы*. – №4, 1986. – С. 57-58. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. *Ф.В. Новикова и А.В. Якимова*. В десяти томах. – Т. 4. “Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. 6. *Новиков Г.В.* Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... кандидата техн. наук: 05.02.08 / *Новиков Григорий Васильевич*. – Харьков, 1989. – 210 с.

Поступила в редколлегию 5.05.2011г.